

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

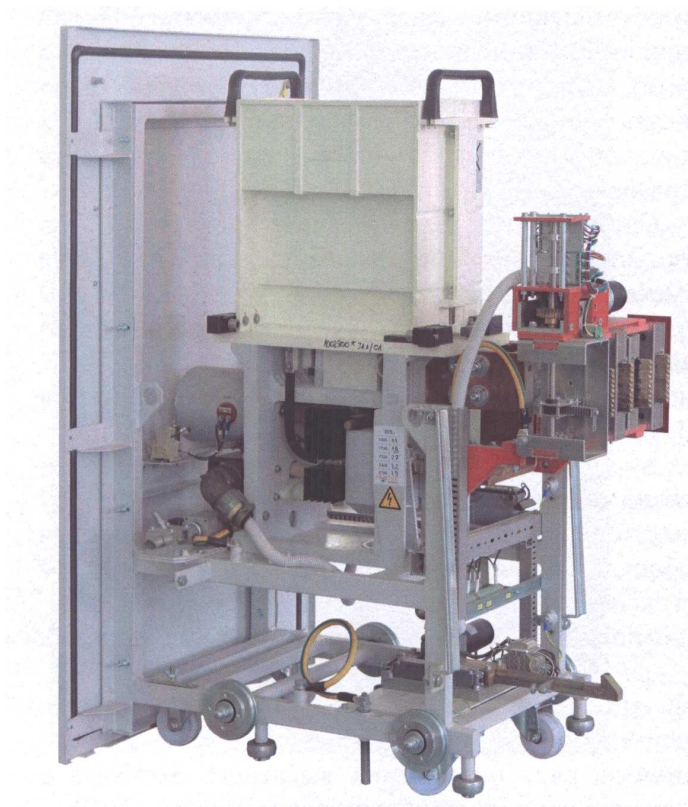
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Збірник задач для контролю остаточних знань

з курсу

«Електропостачання електричного транспорту»

(для самостійної роботи студентів 3-го курсу денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»)



**Харків
ХНАМГ
2011**

Збірник задач для контролю остаточних знань з курсу **«Електропостачання електричного транспорту»** (для самостійної роботи студентів 3-го курсу денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. К. Нем, Н. П. Лукашова. – Х.: ХНАМГ, 2011. - 28 с.

Укладачі: В. К. Нем, Н. П. Лукашова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол засідання № 3 від 02.02.2011 р.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Критерії оцінки знань студентів по змістовим модулям	
та вирішення задач.....	5
Задача 1.....	6
Задача 2.....	7
Задача 3.....	9
Задача 4.....	15
Задача 5.....	17
Задача 6.....	19
Задача 7.....	20
Задача 8.....	22
Джерела	25
Додатки	26

Вступ

Відповідно до навчального плану і програми навчальної дисципліни та робочої програми навчальної дисципліни «Електропостачання електричного транспорту» для студентів 3-го курсу всіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 – «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт», «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»./ Укл.: В.К. Нем, Н.П. Лукашова – Харків: ХНАМГ, 2009. - 16 с., яка побудована за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу, передбачається два змістових модулі.

Для здачі цих модулів студент окрім теоретичного матеріалу, висловлюваного в лекційному курсі, в методичних матеріалах [8,9], повинен вирішити одну із задач запропонованого збірника. В кожній задачі запропоновано вихідний матеріал по 20-30 варіантів, який видається ведучим викладачем. Окрім цього, при вирішенні задач, студент має право користуватися довідковим матеріалом [8].

Примітка: Студент має право здати теоретичний матеріал і вирішити задачу поетапно.

У роботі зустрічаються такі скорочення:

ТП – тягова підстанція;

ТМ – тягова мережа;

КМ – контактна мережа;

РМ – рейкова мережа;

КП – контактний провід;

СІ - секційний ізолятор;

ПЖЛ – позитивна живильна лінія;

НЖЛ - негативна живильна лінія.

1. Критерії оцінки знань студентів по змістовим модулям та вирішення задач

Оцінка *«відмінно»* виставляється студенту, який глибоко засвоїв програмний матеріал, що дає змогу вичерпно, послідовно, грамотно та логічно його викладати, у відповіді якого тісно пов'язується теорія з практикою. При цьому студент не затрудняється з відповіддю при зміні виду завдання, вільно справляється з задачами, питаннями та іншими видами застосування знань. Показує знайомство з монографічною літературою, правильно обґрунтовує прийняті рішення, володіє різнобічними навичками та прийомами виконання практичних робіт та правильно вирішує задачу.

Оцінка *«добре»* виставляється студенту, що твердо знає програмний матеріал, грамотно та по суті викладає його, який не допускає суттєвих неточностей у відповідях на питання, правильно розуміє теоретичні положення при вирішенні практичних питань і задач, володіє навичками та прийомами їх виконання.

Оцінка *«задовільно»* виставляється студенту, який має знання тільки основного матеріалу, але не засвоїв його деталей, припускається неточностей, недостатньо правильних формулювань, порушення послідовності в викладенні програмного матеріалу та зазнає затруднення при вирішенні задачі.

Оцінка *«незадовільно»* виставляється студенту, що не знає значної частини програмного матеріалу, припускається суттєвих помилок, невпевнено, зі значними затрудненнями виконує практичні роботи (вирішення задач).

Задача 1

Приклад. Визначити кінцеву температуру мідної шини перерізом $S = 100 \text{ мм}^2$ при струмі к.з., за час відключення к.з. вимикачем.

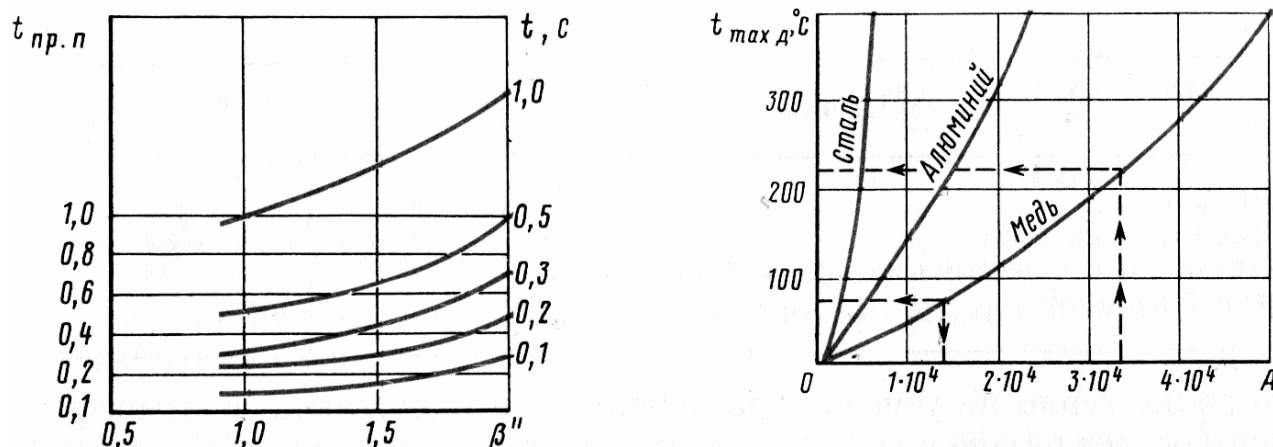


Рис. 1

Таблиця 1 - Вихідні дані до задачі 1

Номер варіанту		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Переріз шини	Мідь	100	-	120	-	160	-	-	100	-	160
	алюміній	-	100	-	120	-	160	100	-	120	-
$\beta'' = I'' / I_{\infty}$		1,0	1,1	1,15	1,20	1,0	1,05	1,1	1,15	1,20	1,0
Постійний струм короткого замикання, I_{∞} , кА		15	18	20	22	24	26	28	30	25	20
Час спрацьовування вимикача $t_{\text{выкл}}$, с		0,2	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,2
Усталений струм к.з. I_{∞} , кА		10	12	15	14	13	16	9	8	11	17

Примітка: для мідних шин $c = 170 \left[\frac{\text{А}\sqrt{\text{С}}}{\text{мм}^2} \right]$

для алюмінієвих шин $c = 90 \left[\frac{\text{А}\sqrt{\text{С}}}{\text{мм}^2} \right]$.

Розрахунок. Дійсний час протікання струму к.з.

$$t = t_{\text{вим}} + t_{\text{зах}} = 0,25 + 0,05 = 0,3 \text{ с.}$$

При тривало допустимій температурі нагріву мідної шини 70°C згідно кривій (рис.1) початковий тепловий еквівалент $A_{\text{нач}} = 1,3 \cdot 10^4$.

Згідно кривої (рис.1) для $\beta'' = 1$ і $t = 0,3$ приведений час $t_{\text{пр}} = 0,25 \text{ с.}$

Тепловий еквівалент від струму к.з. в провіднику (рис.1):

$$A_{\text{кз}} = (I_{\infty} / S)^2 t_{\text{пр}} = \left(\frac{30000}{100} \right)^2 0,25 = 2,23 \cdot 10^4$$

Сумарний тепловий еквівалент:

$$A = A_{\text{н}} + A_{\text{к}} = (1,3 + 2,23)10^4 = 3,53 \cdot 10^4$$

За кривими (рис.1) визначають кінцеву температуру провідника $T = 230^{\circ}\text{C}$.

Мінімальний допустимий переріз мідної шини для приведених умов за формулою при $c = 170 \left[\frac{A\sqrt{C}}{\text{мм}^2} \right]$.

$$S_{\text{min}} = \frac{I_{\infty}}{c} \sqrt{t_{\text{пр}}} = \frac{30000}{100} \sqrt{0,25} = 88 \text{ мм}^2$$

$I_{\infty}, \text{кА}$ - приймається з таблиці 1.

Задача 2

Приклад. Виконати розрахунок заземлюючого пристрою підстанції трамвая, розташованої в II кліматичній зоні, якщо струм однофазного замикання на землю в РУ 10 кВ в одній траншеї завдовжки 50м в суглинному ґрунті де прокладено три кабелі АСБ перерізом 95 мм^2 ; водопровід на підстанції відсутній.

Опором розтікання струму горизонтальних смугових заземлювачів можна нехтувати.

Таблиця 2 - Вихідні дані до задачі 2.

Номер варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Струм однофазного замикання на землю $I_{\phi 3}, A$	40	45	50	55	60	65	40	45	55	60
Довжина траншеї $L_k, м$	50	100	200	500	1000	50	100	200	500	1000
Переріз кабелю $S, мм^2$	95	120	150	185	240	95	120	150	185	240

Розрахунок. Згідно з ПУЕ опір заземляючого пристрою розраховується за нормами:

$$R_3 = 125 / I_{\phi 3} = 125 / 45 = 2,8 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання оболонки одного кабеля без урахування сезонних коливань питомого опору за даними таблиці:

$$R_o = 1,6 \text{ Ом.}$$

З урахуванням підвищеного коефіцієнта $K_m = 4,5$

$$R_{ок} = K_m R_o = 4,5 \cdot 1,6 = 7,2 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання трьох кабелів, тобто опір природних заземлювачів,

$$R_k = R_n = R_o / \sqrt{n-1} = 7,2 / \sqrt{2} = 5,1 \text{ Ом.}$$

Оскільки на підстанції необхідна споруда штучного заземлюючого пристрою з опором

$$R_{ум} = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3} = \frac{5,1 \cdot 2,8}{5,1 - 2,8} = 6,2 \text{ Ом.}$$

Застосовуємо вертикальні заземлюючі прутки діаметром 12мм і завдовжки 5 м. Розрахунковий (найбільший) опір розтікання одного прутка при $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ і коефіцієнті, що підвищує $K_m = 1,4$

$$R_o = 0,19 K_m \rho = 0,19 \cdot 1,4 \cdot 100 = 26,6 \text{ Ом.}$$

При відстані між прутками 5м і коефіцієнті використання $\eta_s = 0,58$ необхідне для заземляючого пристрою число прутків

$$N_{np} = \frac{R_{онп}}{R_{ум} \eta_s} = \frac{26,6}{6,2 \cdot 0,58} = 8.$$

Опір розтікання вертикальних заземлювачів, тобто опір штучних заземлювачів,

$$R_{\text{ез}} = R_u = \frac{R_{\text{опр}}}{N_{\text{пр}} \eta_{\text{е}}} = \frac{26,6}{8 \cdot 0,58} = 5,73 \text{ Ом.}$$

Загальний з урахуванням природних заземлювачів опір заземлюючого пристрою

$$R_{\text{зг}} = \frac{R_{\text{е}} R_u}{R_{\text{е}} + R_u} = \frac{5,1 \cdot 5,73}{5,1 + 5,73} = 2,69 \text{ Ом.}$$

Заземлюючий пристрій задовольняє вимогам електробезпеки, оскільки його опір менший необхідного, згідно з ПУЕ. Периметр контура заземлення $\Pi = 5 \cdot 8 = 40 \text{ м.}$

Задача 3

Приклад розрахунку контактної мережі. Виконати розбиття і розрахунок контактної мережі на розгалужених шляхах трамвая (рис.3,а) [1].

Дані для розрахунку по варіантах в таблиці 1:

- * Ухил поперечин $n = 1/10$.
- * Відстань від контактного дроту до опори $b = 14 \text{ м.}$
- * Довжина прольотів на перегонах $l = 30 \text{ м.}$
- * Маса комплексу підвісу для:
- * Одного дроту на прямій – 20 Н;
- * Одного дроту на кривій – 25 Н;
- * Висота контактного дроту в точці підвісу над головкою рейки – 5,65 м.

Таблиця 3 - Вихідні дані до задачі 3.

Номер варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розрахувати зусилля на опору (див. рис. 1)	I	II	III	IV	V	VI	VIII	XIII	IX	XI
Контактний дріт типа МФ перетином $S, \text{мм}^2$	65	85	100	65	85	100	65	85	100	65
Радіус кривої R, м	20	30	40	50	60	75	100	150	200	45
Відстань від контактного дроту до опори, м	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
Допустиме натягіння КП Н, кН	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

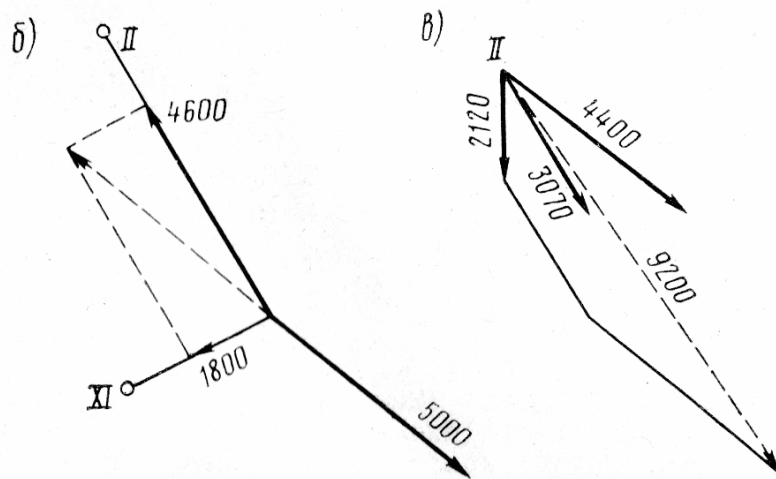
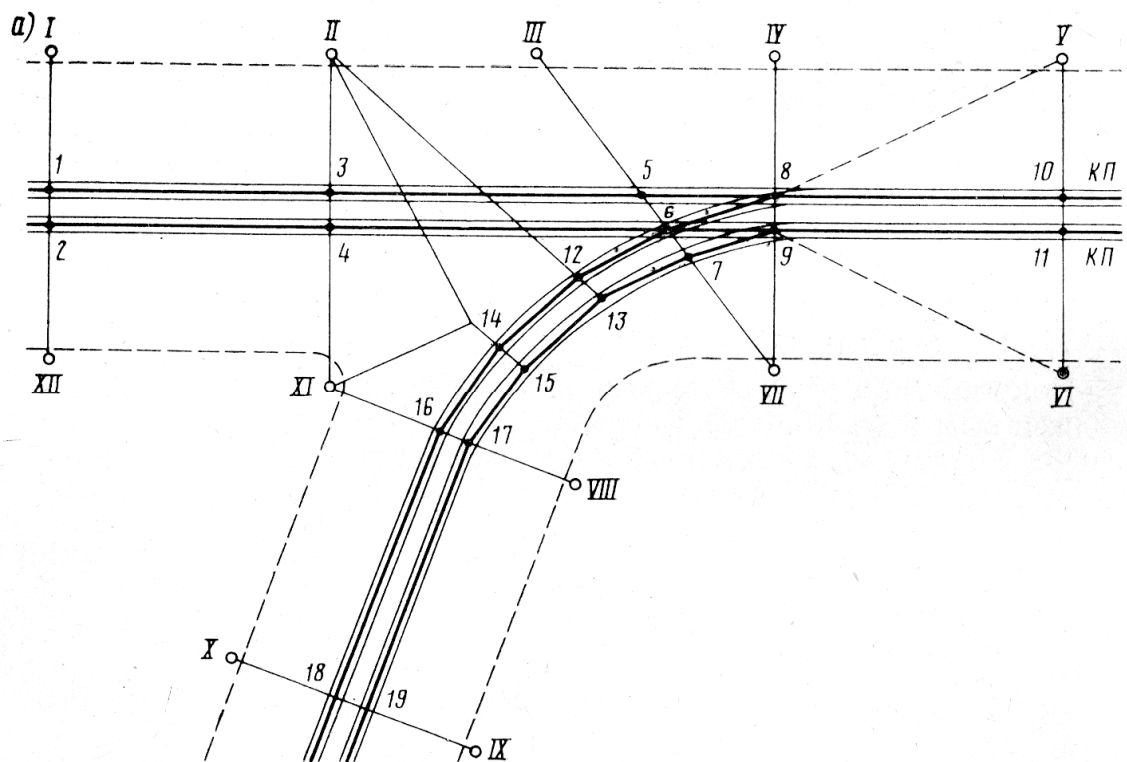


Рис. 3.

Визначимо результуюче навантаження на опору II. Одержане навантаження повинне бути менше табличного значення зусилля на опору, Н (табл.Д.1, Д.2)

Потрібно виконати розбиття і розрахунок контактної мережі на розгалужених шляхах трамвая (рис. 3).

Дані для розрахунку. Радіус кривої внутрішнього шляху 45 м. Контактний дріт мідний МФ-85. Маса 1м дроту - 7,6 Н. Найбільше допустиме натягнення контактного дроту $H = 10$ до H , якнайменше $H = 4$ кН.

Маса комплексу підвісу для:

- * одного дроту на прямій - 15 Н;
- * одного дроту на кривій - 45 Н;
- * відтяжки - 40 Н;
- * двох дротів в місцях анкерівки - 60 Н;
- * хрестовини на перетині дротів - 65 Н.

Висота контактного дроту в точці підвісу над головою рейки - 5,65 м.

Для розрахунку приймаємо режим мінімальної температури, який для кривих ділянок дає найбільші навантаження, при цьому тиск вітру і навантаження від ожеледі на контактні дроти і тросову систему не враховується. Навантаження від сили тяжкості контактного дроту на відтяжки також не враховується. Це навантаження сприймається сусідньою поперечиною

Для підвищення надійності стрілочне злиття як і хрестовина підвішуються на поперечині.

Визначимо довжини хорд, користуючись таблицею 9 [1], в якій не показані довжини хорд для радіусу кривої 45 м, тому беремо найближчі їх значення, тобто $R = 40$ м, $a = 10$ м і $R = 50$ м, $a = 12,5$ м. Інтерполюючи, знайдемо для $R = 45$ м, $a = 11,25$ м.

Довжина шляху кривої ділянки дорівнює 47 м.

Кількість хорд буде дорівнювати $47:11,25=4$ (з округленням до цілих одиниць). Загальна довжина чотирьох хорд менше довжини кривої ділянки шляху, у зв'язку з чим останню поперечину зсовуємо всередину кривої на різницю в довжині - 2 м. Другі контактні дроти з поперечини (IV-VII) анкеруємо на опори V і VI. Довжини прольотів на перегонах приймаємо рівними 30 м.

Р о з р а х у н о к п і д в і с к и поперечини I-1-2-XII. Підвіси 1 і 2 мають навантаження від ваги контактних дротів обох половин прольотів справа і зліва і арматури. На кожному опорі діє сила

$$Q = \left(q \frac{l_1 + l_2}{2} + G \right) = \left(7,6 \frac{30 + 30}{2} + 15 \right) = 238, H$$

Прийнявши ухили крайніх ділянок поперечини рівними 1/10, визначимо зусилля, що розтягує поперечний трос:

$$P = Q_n = 238 \cdot 10 = 2380 \text{ Н.}$$

Висоту закріплення поперечного троса на опорі I знайдемо як суму висоти закріплення дроту (5,65 м), різниці висот в точці підвісу між дротом і поперечиною і стріли провисання f .

Остання визначається як $f = b/n$ (тут b - відстань від контактної дроту до опори).

Для опори I відстань $b = 14 \text{ м}$, тому $f = 14/10 = 1,4 \text{ м}$. Тоді висота закріплення хомути на опорі

$$H = 5,65 \text{ м} + 0,1 \text{ м} + 1,4 \text{ м} = 7,05 \text{ м.}$$

Для опори VII навантаження і висота закріплення поперечини такі ж, як і для опори I, тому що вони розташовані симетрично щодо шляху трамвая.

Розрахуємо поперечину II- 3-4- XI. Знайдемо силу

$$Q_1 = \left(7,6 \frac{30 + 33}{2} + 15 \right) = 250, H ;$$

$$Q_{21} = \left(7,6 \frac{30 + 35}{2} + 15 \right) = 258, H ;$$

Різниця в навантаженнях незначна, що дозволяє вести розрахунок за середнім навантаженням з невеликою погрешністю, допустимою в даному випадку:

$$P_1 = \frac{250 + 258}{2} = 2540, H .$$

Висота закріплення троса на Опорі *II* буде такою ж, як і на опорі *I*, тобто $h = 7,05$ м. Висота закріплення троса на опорі *XI*

$$h = 5,65 + 0,1 + 17/10 = 7,45 \text{ м.}$$

Розрахуємо висоту закріплення вуса косинця відтяжки *I-14-15*.

Навантаження відтяжки знаходимо за таблицею 9 [1]. Для двох дротів

$$P_2 = 2Z = 2 + 2500 = 5000 \text{ Н.}$$

Розкладемо зусилля: навантаження на вус *II-14* складе 4600 Н, на вус *XI-14*—1800 Н (рис. 83, б). При визначенні висоти закріплення слід врахувати, що весь косинець *II—14—XI* (див. рис.3,б) розташовується в площині, відповідній до дроту з ухилом 1/20. Для визначення відстані b опустимо перпендикуляр з точки *II* на напрям *14-15* і по масштабу знайдемо $b = 34$ м.

Тоді

$$h = 5,65 + 0,1 + 35/20 = 7,35 \text{ м.}$$

Визначимо висоту закріплення вуса відтяжки *XI-14-15*

$$H = 5,65 + 0,1 + 11/20 = 6,3 \text{ м.}$$

Для відтяжки *II—12—13*:

$$P = 2 \cdot 2500 = 5000 \text{ Н;}$$

$$h = 5,65 + 0,1 + 35/20 = 7,5 \text{ м.}$$

Розрахуємо поперечину *X-18-19-IX*. Навантаження цієї поперечини аналогічне навантаженню на поперечині *I-1-2-XII*, тобто $P = 2380$ Н. Точки закріплення на опорах *X* і *IX* знаходитимуться на висоті

$$h = 5,65 + 0,1 + \frac{11}{10} = 6,85 \text{ м.}$$

Визначимо висоту закріплення анкерних тросів *8—V* і *9—VI*. Кути між осями шляхів і анкерними тросами $\alpha = 280^\circ$, тоді $P = 10\,000 : \cos \alpha = 11\,300$ Н.

Висоту закріплення знайдемо відносно ухилу, рівному 1/40. Довжина кожного троса рівна 34 м, тому висота закріплення тросів на опорах *V* і *VI*

$$h = 5,65 + \frac{34}{40} = 6,5 \text{ м.}$$

Аналогічно розраховують решту поперечин і елементів тросової системи. Одержані результати зводять в таблицю.

У розрахунку прийнято, що дроти прямого шляху з поперечини *IV—VII* йдуть на анкери. Оскільки анкерні гілки взаємно компенсують зусилля від зміни напрямку, додаткові зусилля на опори не передаються.

Для опор, що мають декілька навантажень, визначають сумарне навантаження. Перед геометричним складанням навантаження приводять до однієї висоти відповідно до умови збереження рівності згинаючих моментів. Найзручніше приводити всі навантаження до вершини опори, оскільки в каталогах указуються допустимі навантаження саме для цієї висоти.

Сумарне навантаження на опору II визначається геометрично (рис. 3, в).

Задача 4

Визначити втрати напруги в двопровідний тяговій мережі (рис.4). Вихідні дані варіантів приведені в таблиці 4. Контактний дріт марки МФ-85.

$\gamma = 56 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$. Характеристики контактних дрітів наведені в таблиці Д.3

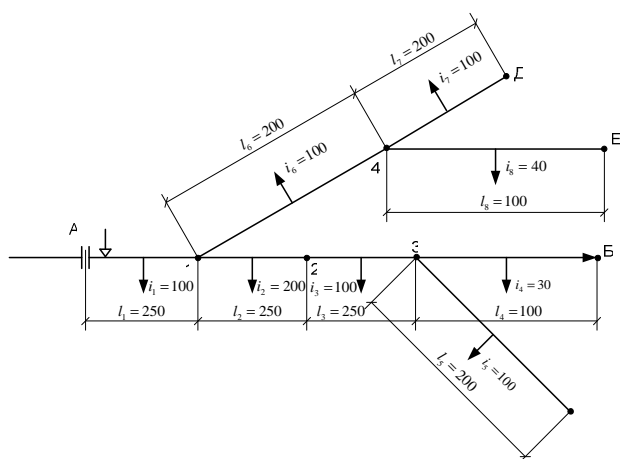


Рис. 4

Таблиця 4 - Вихідні дані до задачі 4.

Номери варіантів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_1	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50
l_2	50	500	450	400	350	300	250	200	150	100
l_3	100	50	500	450	400	350	300	250	200	150
l_4	150	100	50	500	450	400	350	300	250	200
l_5	200	150	100	50	500	450	400	350	300	250
l_6	250	200	150	100	50	500	450	400	350	300
l_7	300	250	200	150	100	50	500	450	400	350
l_8	350	300	250	200	150	100	50	500	450	400
l_1	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
l_2	30	120	110	100	90	80	70	60	50	40
l_3	40	30	120	110	100	90	80	70	60	50
l_4	50	40	30	120	110	100	90	80	70	60
l_5	60	50	40	30	120	110	100	90	80	70
l_6	70	60	50	40	30	120	110	100	90	80
l_7	80	70	60	50	40	30	120	110	100	90
l_8	90	80	70	60	50	40	30	120	110	100

Рішення. Як відомо, одним з основних параметрів, що характеризують якість електропостачання електричного транспорту, є сумарна втрата напруги в тяговій мережі (контактній, рейковій і кабельній мережах). В даній задачі визначаються втрати напруги тільки в контактній мережі (допустимі втрати в тяговій мережі 90 В на контактну мережу доводиться 60–70) В.

1. Визначаємо втрати напруги на окремих ділянках [1]:

$$\Delta U_{AI} = \frac{l_1}{\gamma \cdot S} \left(\frac{i_1}{2} + \sum_{k=2}^8 i_k \right) = \frac{2 \cdot 250}{56 \cdot 85} \left(\frac{100}{2} + 200 + 100 + 30 + 100 + 150 + 80 + 40 \right) = 36 \text{ В}$$

$$\Delta U_{I2} = \frac{l_2}{\gamma \cdot S} \left(\frac{i_2}{2} + \sum_{3,4,5} i_k \right) = \frac{2 \cdot 250}{56 \cdot 85} \left(\frac{200}{2} + 100 + 100 + 100 \right) = 21 \text{ В}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{l_3}{\gamma \cdot S} \left(\frac{i_3}{2} + \sum_{4,5} i_k \right) = \frac{2 \cdot 250}{56 \cdot 85} \left(\frac{100}{2} + 100 + 100 \right) = 13 \text{ В}$$

$$\Delta U_{3B} = \frac{l_4 \cdot i_4}{\gamma \cdot S} = \frac{100 \cdot 30}{56 \cdot 85} = 0,63 \text{ В}$$

$$\Delta U_{3C} = \frac{l_5 \cdot i_5}{\gamma \cdot S} = \frac{100 \cdot 200}{56 \cdot 85} = 4,2 \text{ В}$$

$$\Delta U_{IC} = \frac{l_6}{\gamma \cdot S} \left(\frac{i_6}{2} + \sum_{7,8} i_k \right) = \frac{300}{56 \cdot 85} \left(\frac{150}{2} + 80 + 40 \right) = 123 \text{ В}$$

$$\Delta U_{4Д} = \frac{l_7 \cdot i_7}{\gamma \cdot S} = \frac{200 \cdot 80}{56 \cdot 85} = 3,36 \text{ В}$$

$$\Delta U_{4E} = \frac{l_8 \cdot i_8}{\gamma \cdot S} = \frac{100 \cdot 40}{56 \cdot 85} = 0,84 \text{ В}$$

2. Втрати напруги до кінця ліній:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{AI} + \Delta U_{I2} + \Delta U_{23} + \Delta U_{3B} = 36 + 21 + 13 + 0,63 = 70,63 \text{ В.}$$

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AI} + \Delta U_{I2} + \Delta U_{23} + \Delta U_{3C} = 36 + 21 + 13 + 4,2 = 74,2 \text{ В.}$$

$$\Delta U_{AD} = \Delta U_{AI} + \Delta U_{I4} + \Delta U_{4Д} = 36 + 12,3 + 3,3 = 51,6 \text{ В.}$$

$$\Delta U_{AE} = \Delta U_{AI} + \Delta U_{I4} + \Delta U_{4E} = 36 + 12,3 + 0,84 = 49,14 \text{ В.}$$

Сумарні втрати напруги на всіх ділянках не перевищують допустимої величини $\Delta U_{\text{дон}} < 90 \text{ В}$.

Задача 5

Визначити точку струморозділу в рейковій мережі трамвая (рис. 5).

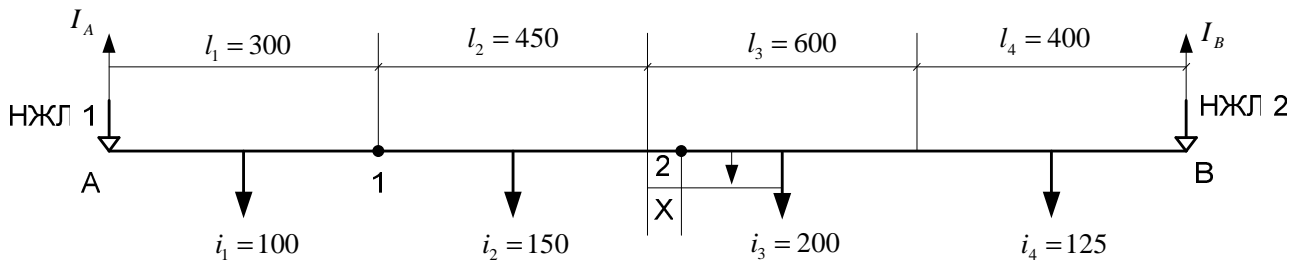


Рис. 5

Таблиця 5 - Вихідні дані до задачі 5

Номер варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_1	400	300	600	200	500	300	400	200	100	500
l_2	500	400	300	600	200	500	300	400	200	100
l_3	100	500	400	300	600	200	500	300	400	200
l_4	200	100	500	400	300	600	200	500	300	400
l_1	200	150	300	100	250	150	200	100	50	250
l_2	250	200	150	300	100	250	150	200	100	50
l_3	50	250	200	150	300	100	250	150	200	100
l_4	100	50	250	200	150	300	100	250	150	200

Рішення. Рейкова мережа трамвая з'єднана електрично на всіх ділянках. Отже, між двома точками приєднання негативних живлячих ліній (НЖЛ1 і НЖЛ2, рис.5) існує якась точка, де струми розподіляються в різні боки, відповідно до НЖЛ1 і НЖЛ2. Ця точка називається «точкою струморозділу» (ТСР).

Мета даної задачі – визначити місцезнаходження цієї точки.

Порядок рішення задачі:

1. Визначаємо лінійні струми I_A :

$$I_A = \frac{\sum i_l \cdot l_k}{\sum l_k}, \quad \sum l_k = 300 + 450 + 600 + 400 = 1750 \text{ м.}$$

де l_k - відстань від точки приєднання НЖЛ до відповідного струму, м.

$$I_A = \frac{125 \cdot \frac{400}{2} + 200 \left(400 + \frac{600}{2} \right) + 150 \left(400 + 600 + \frac{450}{2} \right) + 100 \left(400 + 600 + 450 + \frac{300}{2} \right)}{1750} = 290,7 \text{ А.}$$

$$I_B = \sum i_i - I_A = 575 - 290,7 = 284,3 \text{ А.}$$

Визначаємо струм в точці 1

$$I_1 = I_A - i_i = 290,7 - 100 = 190,7 \text{ А}$$

Струм в точці 2

$$I_2 = I_A - i_1 - i_2 = 190,7 - 150 = 40,7 \text{ А}$$

Отже 40,7 А протікатиме в точку 5 з ділянки (2-3).

Для знаходження відстані X складаємо пропорцію

$$200 \text{ А} \rightarrow 600 \text{ м}$$

$$40,7 \text{ А} \rightarrow X$$

$$X = \frac{40,7 \cdot 600}{200} = 122,1 \text{ м}$$

Отже ТСП знаходиться на відстані 122,1 м від точки 1 (рис. 5).

Одержана точка необхідна для визначення втрат напруги в рейковій мережі від точок приєднання НЖЛ1 і НЖЛ2. Причому при правильному рішенні задачі ці втрати напруги повинні бути рівними.

Задача 6.

Визначити втрати напруги і навантаження живлячої лінії на ділянці контактної мережі трамвая [2].

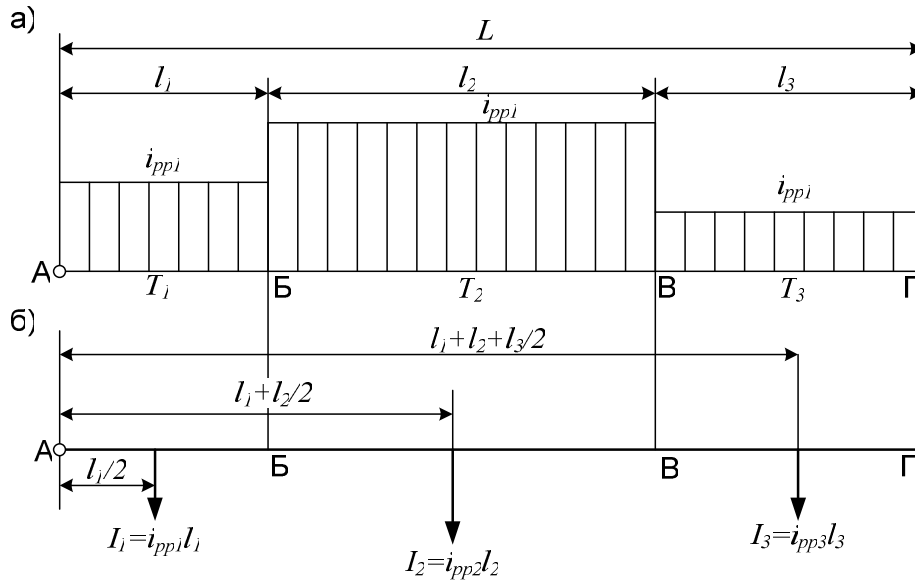


Рис. 6 - Схема ділянки з навантаженням різної інтенсивності:
 а - схема з рівномірно розподіленим навантаженням;
 б - схема заміщення із зосередженими навантаженнями

Таблиця 6 - Вихідні дані до задачі 6.

Параметри Мережі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i_{pp1} , Ом/км	55	70	90	120	130	150	110	120	135	140
i_{pp2} Ом/км	160	155	110	75	95	45	60	115	95	75
i_{pp3} Ом/км	130	135	70	85	80	135	130	70	140	100
l_1 , км	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
l_2 км	0.9	0.9	1.1	1.5	1.6	1.3	1.4	1.2	1.1	1.4
l_3 км	1.3	1.2	0.7	0.8	0.5	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Примітка: Номер варіанту вибирати за останньою цифрою залікової книжки

На рис.6,а представлена ділянка нерозгалуженої мережі, але з відрізками різної інтенсивності навантажень і різних опорів на одиницю довжини, а схема заміщення із зосередженим навантаженням зображена на рис. 6,б.

Для неї втрату напруги в кінці всієї ділянки завдовжки L , км. (в точці Γ) можна визначити за формулою [2]:

$$\Delta U_L = \sum_{s=1}^3 I_s \cdot r_s \cdot l_s = I_1 \cdot r_1 \cdot \frac{l_1}{2} + I_2 (r_1 \cdot l_1 + r_2 \cdot \frac{l_2}{2}) + I_3 (r_1 \cdot l_1 + r_2 \cdot l_2 + r_3 \cdot \frac{l_3}{2})$$

Навантаження живлячої лінії для даної схеми (рис.6)

$$I_{\text{л}} = \sum_{s=1}^3 I_s = I_1 + I_2 + I_3$$

або

$$I_{\text{л}} = \sum_{s=1}^3 i_{\text{pp},s} \cdot l_s = i_{\text{pp}1} \cdot l_1 + i_{\text{pp}2} \cdot l_2 + i_{\text{pp}3} \cdot l_3.$$

Задача 7

Приклад. Визначити точку струморозділу в контактній мережі трамвая для схеми двостороннього живлення ділянки (рис. 7).

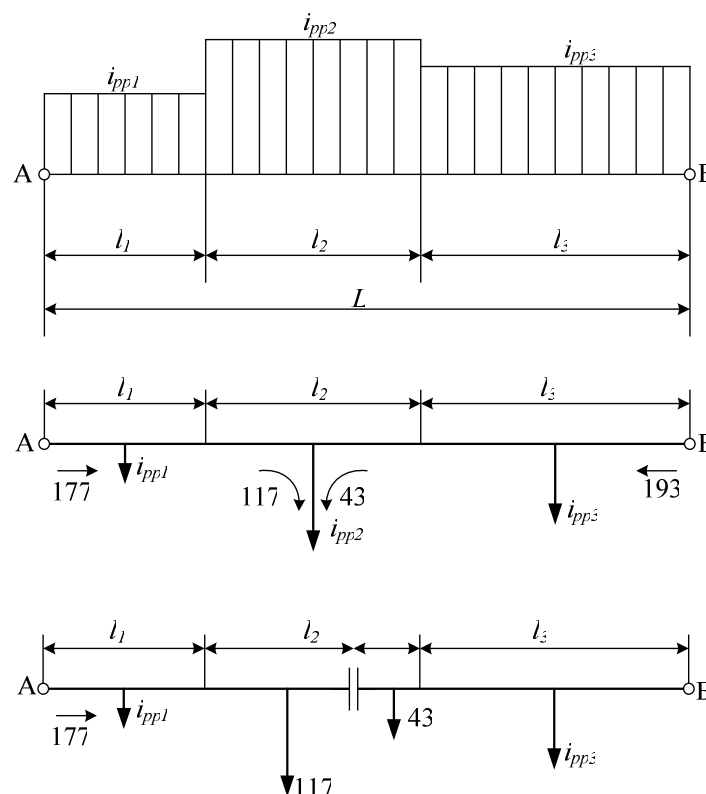


Рис. 7 - Визначення точки струморозділу в схемі з рівномірно-розподіленим навантаженням

Таблиця 7 - Вихідні дані до задачі 7.

Параметри мережі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i_{pp1} , Ом/км	55	70	90	120	130	150	110	120	135	140
i_{pp2} , Ом/км	160	155	110	75	95	45	60	115	95	75
i_{pp3} , Ом/км	130	135	70	85	80	135	130	70	140	100
l_1 , км	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
l_2 , км	0.9	0.9	1.1	1.5	1.6	1.3	1.4	1.2	1.1	1.4
l_3 , км	1.3	1.2	0.7	0.8	0.5	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Примітка: Номер варіанту вибирати за останньою цифрою залікової книжки

Розглянемо на числовому прикладі знаходження точки струморозділу ділянки двостороннього живлення з неоднаковою інтенсивністю навантажень по довжині ділянки (рис.7). Значення розподілених навантажень в амперах на 1 км і довжини ділянок в кілометрах вказані на схемі. Вважаючи опір ділянки однаковим по всій довжині, визначимо струм від живлячих пунктів підстанцій А і Б, тобто струми живлячих ліній I_A і I_B [2]:

$$I_B = \frac{60 \frac{0.6}{2} + 160 \left(0.6 + \frac{0.8}{2} \right) + 150 \left(0.6 + 0.8 + \frac{1.0}{2} \right)}{2.4} \approx 193 \text{ А}$$

$$I_A = 60 + 160 + 150 - 193 = 177 \text{ А}$$

Відповідно до знайдених значень I_A і I_B струморозділ доводиться на середню ділянку, що має довжину 0,8км, причому струм навантаження цієї ділянки 160 А розподіляється на частини 117 і 43 А. В цьому відношенні ділимо довжину середньої ділянки і одержуємо 0,585 і 0,215км. Одержана точка і є точка струморозділу. По ній розрізаємо схему (в контактній мережі рекомендується встановлювати секційний ізолятор). Частина навантаження, що співпало з струморозділом, переносимо в середину відповідних відрізків середньої ділянки, як це показано на рис. 7.

Задача 8

Приклад: Визначити втрати напруги в двохпроводній мережі постійного струму (рис. 8,а)

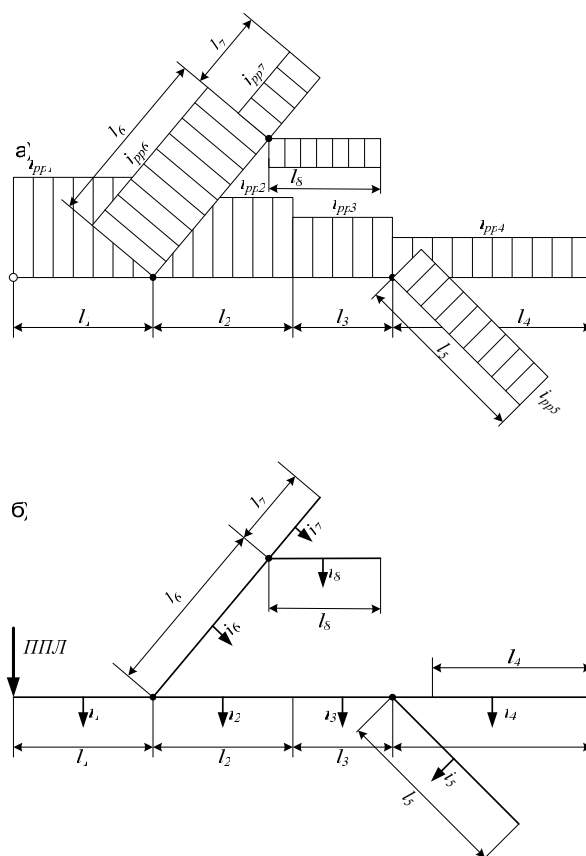


Рис. 8 – Розгалужена мережа з рівномірно розподіленими навантаженнями:
*а – схема рівномірно розподілених навантажень; б – еквівалентна
 розрахункова схема з зосередженими навантаженнями*

На ділянці А-1 навантаження відсутнє. На рисунку «8,б» для інших ділянок наведені навантаження. На ділянці А-1 використані кабелі з алюмінієвими жилами, на інших ділянках – мідні проводи.

Площі перерізу проводів і кабелів приведені цифрами в кружках, мм^2 .
 Питома провідність алюмінію 33, міді – 56 $\text{м/Ом}\cdot\text{мм}^2$.

Вихідні дані наведені у таблиці 8.

Таблиця 8 – Вихідні дані до задачі 8

Параметри контактної мережі трамваю	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Питоме навантаження, i_{ppk} , А/мм ²	0.4	0.9	0.6	0.4	0.4	0.7	0.6	0.4	0.5	0.3
i_{pp2}	0.0	0.8	0.9	0.6	0.4	0.6	0.5	0.7	0.4	0.6
i_{pp3}	0.3	0.7	0.3	0.7	0.4	0.9	0.6	0.3	0.7	0.5
i_{pp4}	0.7	0.6	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.3	0.9	0.3
i_{pp5}	0.9	0.5	0.7	0.4	0.5	0.7	0.9	0.6	0.4	0.7
i_{pp6}	0.3	0.7	0.4	0.6	0.5	0.3	0.4	0.7	0.5	0.6
i_{pp7}	0.0	0.6	0.5	0.7	0.9	0.6	0.5	0.3	0.6	0.3
i_{pp8}	0.6	0.8	0.9	0.3	0.7	0.4	0.6	0.5	0.9	0.4
Довжина розрахункової ділянки, l_{kl} , м.	90	150	120	100	160	180	130	90	100	200
l_2	90	130	100	80	110	120	160	110	110	250
L_3	200	120	280	260	100	130	250	130	60	110
l_4	140	90	300	90	150	80	100	250	160	200
l_5	100	200	90	140	240	130	250	70	180	160
l_6	80	160	250	200	90	120	200	80	100	140
l_7	150	220	100	80	250	200	130	100	120	150
l_8	250	80	250	90	100	80	140	90	200	110

Зосереджені навантаження ділянок визначаються за формулою, А:

$$i_k = i_{ppk} \cdot l_k.$$

Втрати напруги визначаються за формулами:

$$\Delta U_1 = \frac{2 \cdot l_1}{S_1 \gamma_1} \cdot \left(\frac{i_1}{2} + \sum_{k=2}^8 i_k \right)$$

$$\Delta U_2 = \frac{2 \cdot l_2}{S_2 \gamma_2} \cdot \left(\frac{i_2}{2} + \sum_{k=3,4,5}^8 i_k \right)$$

$$\Delta U_6 = \frac{2 \cdot l_6}{S_6 \gamma_6} \cdot \left(\frac{i_6}{2} + \sum_{k=7,8} i_k \right)$$

$$\Delta U_7 = \frac{i_7 \cdot l_7}{S_7 \cdot \gamma_7}.$$

Через відсутність навантаження на ділянці А-1 втрати напруги на осі ΔU_{A1} визначаються за формулою

$$\Delta U_I = \frac{2 \cdot l_1}{S_1 \gamma_1} \cdot \left(\frac{i_1}{2} + \sum_{\kappa=2}^8 i_{\kappa} \right),$$

у якій опускається перший доданок у дужках.

Втрати напруги від живлячого пункту А до самих видалених точок мережі В, С, Д, Е визначаються додаванням втрат напруги відповідних ділянок.

Так втрати напруги до точки В:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_I + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4.$$

До точок С, Д, і Е

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_I + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_5;$$

$$\Delta U_{AD} = \Delta U_I + \Delta U_6 + \Delta U_7;$$

$$\Delta U_{AE} = \Delta U_I + \Delta U_6 + \Delta U_8;$$

Визначається найбільша величина втрати напруги і якщо ця вона перевищує нормативні значення необхідно перенести точку приєднання позитивного кабелю (точку А) у бік кінця лінії.

ДЖЕРЕЛА

1. Афанасьев А.С., Долаберидзе Г.П. Шевченко В.В. «Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов». М.: Транспорт, 1979 – 330 с.
2. Шевченко В.В., Арзамасцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1987 – 272 с.
3. Тарнишевский М.В., Томлянович Д.К. Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса. – М.: Транспорт, 1986 – 376 с.
4. Нормы и правила проектирования систем электроснабжения трамвая и троллейбусов / АКХ им. Панфилова – М.: АКХ, 1982. 23 с.
5. Трамвайні та троллейбусні лінії. Вимоги до проектування. ДБН Б.2.3. –Київ, Мінбуд України. 2006 119 с.
6. Руководство по проектированию контактных сетей трамвая и троллейбуса. МЖКТ РСФСР. ГУ ГЭТ. М.: 1980. 146 с.
7. Загайнов Н.А., Финкельштейн Б.С., Кривов Л.Л. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Учебник для техникумов (Под редакцией Н.А. Загайнова) издание 4-ое перераб. и доп. М.: Транспорт, 1988. – 327 с.
8. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт з курсу «Електропостачання ЕТ». (для студентів 3 курсу усіх форм навчання спеціальності 7.092.202)/.Укл. Нем В.К., Кисельов М.І., Скуріхін В.І.,- Харків: ХДАМГ, 2009.- 67 с.
9. Електропостачання електричного транспорту. Практикум до лабораторних та практичних занять для студентів 3-го курсу денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050702 - «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекс транспортних засобів» / В.К. Нем; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; – Х.: ХНАМГ, 2009. - 137 с.

Таблиця Д.1 - Опори контактних мереж міського транспорту

Марка опор	Нормативне горизонтальне навантаження, Н	Відстань від місця прикладення навантаження до рівня закладення стояка, м	Нормативний згинальний момент на рівні закладення стояка	
			$T \cdot m$	$K_H \cdot m$
СНЦ – 3,4 – 11,5	4000	8,5	3,4	34
СНЦ – 5,1 – 11,5	6000	8,5	5,1	51
СНЦ – 7,7 – 12	9000	8,5	7,7	77
СНЦ – 10 – 12	12000	8,5	10	100
СНЦ – 16 – 13	16000	10	13	130
СНЦ – 18 – 13	18000	10	13	130
СНЦ – 20 – 15,5	16000	12,5	15,5	155
СНЦ – 22,5 – 15,5	18000	12,5	15,5	155

Примітка: 1. Опора складається із стояка і кронштейна для підвіски ліхтарів вуличного освітлення.

2. Марка стояків складається з таких позначень:

«С» - стояк;

«Н» - опора з напруженою арматурою;

«Ц» - опора центрофугована зі стержневою арматурою; перша цифра означає нормативний момент $T \cdot m$ на рівні земної поверхні; друга цифра - повну довжину стояка (м).

Таблиця Д.2 - Металеві трубчаті опори міського транспорту

Тип опори	Довжина опори, м	Нормативне горизонтальне навантаження, Н	Висота прикладення навантаження від ґрунту, м	Діаметр, мм		Маса опори, кг	Глибина фундаменту, м
				верхній	нижній		
1	2	3	4	5	6	7	8
II	8,5	4000	7,7	168	219	380	1,8
II	8,5	6000	7,7	219	273	465	1,8
I	2	3	4	5	6	7	8
III	8,5	9000	7,7	273	325	634	1,8
IV	10,5	4000	8,5	168	219	417	2,0
V	10,5	6000	8,5	219	273	510	2,0

Продовження табл. Д2

1	2	3	4	5	6	7	8
VI	10,5	9000	8,5	273	325	697	2,0
VII	10,5	12000	8,5	273	351	794	2,0
VII	12,5	6000	10,0	219	325	778	2,5
IX	12,5	9000	10,0	273	351	943	2,5
X	12,5	12000	10,0	273	377	1017	2,5
XI	15,0	9000	12,5	273	351	1122	2,5
XII	15,0	12000	12,5	273	377	1427	2,5

Таблиця Д.3 - Електричні параметри контактних і підсилювальних проводів, несучих тросів

Марка проводу, матеріал	Переріз, мм ²	Опір, Ом/км	Допустиме навантаження проводу, А	
			нового	зношеного
Мідний МФ-65	65	0,25	325	225
МФ-85	85	0,208	425	310
МФ-100	100	0,177	500	350
Сталеалюмінієві ПКСА-80/180	80	0,21	525	480
Сталемідний СМ-85	85	0,53	240	200
СМ-100	100	0,45	275	-
Сталемідний ПБСМ1-70	70	0,731	148	-
ПБСМ1-95	95	0,563	190	-
Підсилювальні алюмінієві (сталеалюмінієві)				
А (АС, АСУ)				
А-120	120	0,27	375	-
А-150	150	0,21	440	-
А-185	185	0,17	500	-
Мідні М-120	120	0,158	485	-
М-150	150	0,123	570	-
М-185	185	0,103	640	-

Примітка. Опір сталевих несучих тросів у розрахунку не враховують.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Збірник задач для контролю остаточних знань з курсу
«Електропостачання електричного транспорту»
(для самостійної роботи студентів 3-го курсу денної
і заочної форм навчання за напрямом підготовки
6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та
«Електричні системи і комплекси транспортних засобів»)

Укладачі **НЕМ** Валерій Костянтинович
ЛУКАШОВА Наталя Павлівна

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 183М

Підп. до друку 28.04.2011р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 1,2
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.